

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-163417

(43)Date of publication of application : 10.06.2004

(51)Int.Cl.

G01N 13/10

G01N 13/14

G01N 22/00

G01R 1/06

G01R 27/26

G12B 21/06

(21)Application number : 2003-348288

(71)Applicant : NEOCERA INC

(22)Date of filing : 07.10.2003

(72)Inventor : MORELAND ROBERT L  
CHRISTEN HANS M  
TALANOV VLKADIMIR V  
SCHWARTZ ANDREW R

(30)Priority

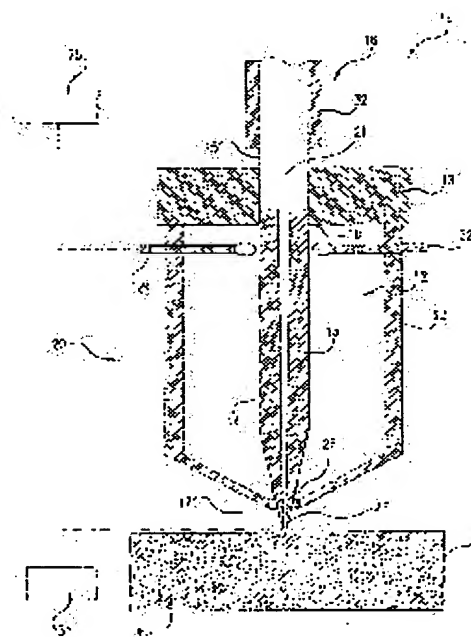
Priority number : 2002 266611 Priority date : 09.10.2002 Priority country : US

**(54) APERTURE PROBE FOR LOCAL MEASUREMENT OF COMPLEX DIELECTRIC CONSTANT OF MATERIAL AND MANUFACTURING METHOD**

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a micro wave microscope probe which can make a quantitative measurement.

**SOLUTION:** A probe for a non-destructive determination of a complex dielectric constant of a material and for a near field optical microscope is based on a balance type multi-conductive transmission line structure formed on a dielectric support material which has a definite profile and limits a probe region within a sampling volume of a measuring material. A manufacturing method of the probe using the dielectric support material comprises a process of anisotropically depositing underlayer of Cr, Ni, W or Ta in a thickness of 50 to 100 Å; on the dielectric support material, a process of anisotropically depositing a conductive material on the underlayer of Cr, Ni, W or Ta, and a process of eliminating an unwanted conductive material on a profile of the dielectric support material so as to insulate a formed conductive strip.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

03.10.2006

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or]

application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number]  
[Date of registration]  
[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-163417

(P2004-163417A)

(43) 公開日 平成16年6月10日(2004.6.10)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 13/10	GO 1 N 13/10	H 2 GO 1 1
GO 1 N 13/14	GO 1 N 13/14	B 2 GO 2 8
GO 1 N 22/00	GO 1 N 22/00	S
GO 1 R 1/06	GO 1 N 22/00	Y
GO 1 R 27/26	GO 1 R 1/06	F
審査請求 未請求 請求項の数 28 O L 外国語出願 (全 74 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2003-348288 (P2003-348288)  
 (22) 出願日 平成15年10月7日 (2003.10.7)  
 (31) 優先権主張番号 10/266,611  
 (32) 優先日 平成14年10月9日 (2002.10.9)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 501367381  
 ネオセラ インコーポレーテッド  
 Neocera, Inc.  
 アメリカ合衆国, メリーランド 207  
 05, ベルツビル, スウィート 30  
 0, ヴァージニア マナー ドライブ  
 10000番地  
 (74) 代理人 100074930  
 弁理士 山本 恵一  
 (72) 発明者 ロバート エル. モアランド  
 アメリカ合衆国, メリーランド 207  
 11, ロシアン, マールバロ ロード  
 212番地

最終頁に続く

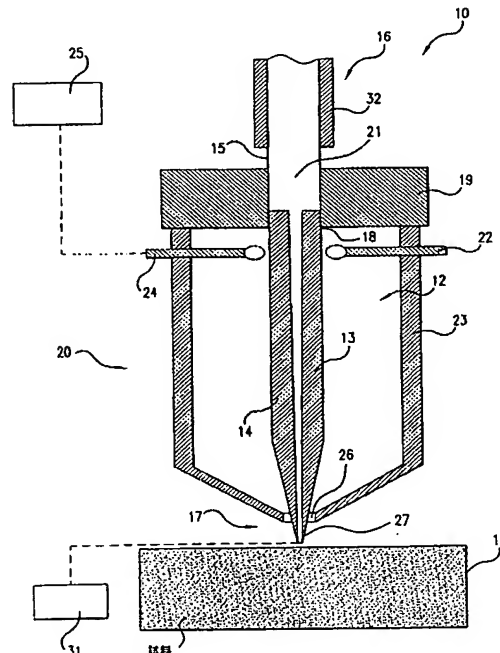
(54) 【発明の名称】 材料の複素誘電率の局部的測定用の開口プローブ及び製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】従来のマイクロ波顕微鏡プローブでは定量的測定ができない。

【解決手段】材料の複素誘電率の非破壊的決定用及び近接場光学顕微鏡用のプローブは、明確な輪郭を有する、測定材料のサンプリング容積内にプローブ領域を制限する、誘電体支持部材上に形成された平衡型多導体伝送線構造に基づいている。誘電体支持部材を用いたプローブの製造方法は、誘電体支持部材上に、50 Å～100 Å厚のCr、Ni、W又はTaの厚い下地層を異方性堆積させる工程と、Cr、Ni、W又はTa下地層上に導電材料を異方性堆積させる工程と、形成された導電ストリップを電氣的に絶縁させるために、誘電体支持部材の側面の不要な導電材料を除去する工程とを含む。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

誘電体支持部材と、

該誘電体支持部材の長さ方向に沿って広がる電氣的に絶縁された複数の導電要素を備えた多導体伝送線と  
を備えていることを特徴とする複素誘電率を測定するための、誘電支持体を用いたプローブ。

## 【請求項 2】

前記誘電体支持部材の一端に形成されておりテーパを付けられた先端部分をさらに備えていることを特徴とする請求項 1 に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

10

## 【請求項 3】

前記誘電体支持部材が中心光ファイバと、該中心光ファイバを取り囲むクラッド層とを有する光ファイバ部材であり、前記導電要素が前記光ファイバ部材の前記クラッド層上に広がる導電ストリップを含んでいることを特徴とする請求項 1 に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

## 【請求項 4】

前記プローブが、近接場走査光学顕微鏡 (NSOM) による測定のためにさらに使用されることを特徴とする請求項 3 に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

## 【請求項 5】

前記導電要素が導電ストリップを含み、前記多導体伝送線が、前記誘電体支持部材の周囲に等間隔に配置された複数の該導電ストリップを含んでいることを特徴とする請求項 1 に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

20

## 【請求項 6】

前記多導体伝送線が、他方から  $180^\circ$  隔てられた一対の前記導電ストリップを含むことを特徴とする請求項 5 に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

## 【請求項 7】

前記テーパを付けられた先端部分の直径が、 $50\text{ nm}$  から  $10\text{ }\mu\text{ m}$  の範囲にあることを特徴とする請求項 2 に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

## 【請求項 8】

前記誘電体支持部材の直径が、 $10\text{ }\mu\text{ m}$  から  $10\text{ mm}$  の範囲にあることを特徴とする請求項 1 に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

30

## 【請求項 9】

前記導電要素が、略  $10\text{ nm}$  の距離だけ互いに離隔されていることを特徴とする請求項 1 に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

## 【請求項 10】

前記導電要素が、金属材料によって形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

## 【請求項 11】

前記導電要素が、Au、Ag、Cu、Al、Cr、W、Pt、Nb 及び YBCO、並びにこれらの混合物から成る材料のグループから選択される 1 つの材料によって形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

40

## 【請求項 12】

前記導電要素の各々が、前記誘電体支持部材上に形成された Cr、Ni、W 又は Ta から成る材料のグループから選択される 1 つの材料による  $50\sim 100\text{ }\text{\AA}$  厚の下地層上に形成された導電材料の層を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

## 【請求項 13】

前記導電要素が、超電導材料で形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

## 【請求項 14】

50

前記誘電体支持部材が、石英、サファイア及びガラスから成るグループから選択される1つの材料で形成されることを特徴とする請求項1に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

【請求項15】

前記誘電体支持部材が、誘電体ロッドであることを特徴とする請求項1に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

【請求項16】

前記誘電体支持部材が、単筒の誘電体チューブであることを特徴とする請求項1に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

【請求項17】

前記誘電体支持部材が、多筒の誘電体チューブであることを特徴とする請求項1に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

【請求項18】

前記誘電体チューブに沿って内部で拡がる少なくとも1つのチャンネル内に挿入された光ファイバをさらに備えていることを特徴とする請求項16に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

【請求項19】

前記誘電体構成要素が金属線を含んでおり、該金属線の各々が前記誘電体チューブ内に形成されその長さ方向に沿って拡がる少なくとも1つのチャンネル内に挿入されていることを特徴とする請求項16に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

【請求項20】

前記誘電体支持部材が、円形、四角形、五角形、六角形及び八角形から成る形状のグループから選択された1つの断面を有することを特徴とする請求項15に記載の誘電支持体を用いたプローブ。

【請求項21】

複素誘電率を測定するための、多導体伝送線を有する誘電支持体を用いたプローブの製造方法であって、

(a) 該誘電体支持部材の長さ方向に沿って拡がる導電材料を、該誘電体支持部材上における所定位置に異方性堆積させる工程と、

(b) 前記導電材料を前記所定位置の間の前記誘電体支持部材から除去し、これにより、前記誘電体支持部材の周囲に拡がり電氣的に絶縁された複数の導電ストリップを形成する工程とを含むことを特徴とする製造方法。

【請求項22】

前記誘電体支持部材が光ファイバ線であり、導電材料を異方性堆積させる前に、所定長の前記光ファイバ線から外部被覆を除去し、これにより、該光ファイバ線の中心光ファイバを取り囲むクラッド層を露出させる工程をさらに備えていることを特徴とする請求項21に記載の製造方法。

【請求項23】

前記誘電体支持部材のテーパを付けられた先端部分を形成する工程と、イオンビームミリング、収束イオンビームミリング及び化学エッチングから成るグループから選択された1つの材料除去技術によって、前記テーパを付けられた先端部分から前記導電材料を除去することによって該テーパを付けられた先端部分に開口を形成する工程とをさらに備えていることを特徴とする請求項21に記載の製造方法。

【請求項24】

前記誘電体支持部材の前記テーパを付けられた先端部分の前記開口の前記イオンビームミリング工程において、

前記テーパを付けられた先端部分の頂点がイオンビームと向かい合うような該イオンビームとの所定の相互配置に前記誘電体支持部材を位置付ける工程と、

前記頂点の曲率のオーダの直径を有する開口を形成するために前記テーパを付けられた

10

20

30

40

50

先端部分を異方性ミリングする工程と  
をさらに含むことを特徴とする請求項 2 3 に記載の製造方法。

【請求項 2 5】

前記工程 (a) の前に、Cr、Ni、W 又は Ta から成る材料グループから選択された 1 つの材料による 50～100 Å 厚の下地層を前記誘電体支持部材上に直接的に異方性堆積させる工程をさらに備えていることを特徴とする請求項 2 1 に記載の製造方法。

【請求項 2 6】

前記導電材料及び前記厚い下地層が、パルスレーザ堆積、蒸着、浸漬、スパッタリング及びエレクトロプレーティング、並びにレーザ及び収束イオンビームを使用した直接描画技術から成るグループから選択した 1 つの堆積技術によって堆積されることを特徴とする請求項 2 5 に記載の製造方法。 10

【請求項 2 7】

イオンビームミリング、収束イオンビームミリング及び化学エッチングから成るグループから選択された 1 つの材料除去技術によって、前記所定位置の間の前記導電材料を除去することを特徴とする請求項 2 1 に記載の製造方法。

【請求項 2 8】

前記所定位置の間の前記導電材料がマスクを使用しないフォトリソグラフィによって除去され、該マスクを使用しないフォトリソグラフィが、

前記導電材料の表面上にフォトレジスト層を形成する工程と、

前記中心光ファイバに光を印加し、これにより、堆積された前記導電材料を通過した光に、該フォトレジスト層を異方性露光させる工程と、 20

エッチング溶液中に前記ファイバ線を浸漬し、それにより、前記所定位置の間にある前記堆積された導電材料をエッチングし除去することを可能にする工程と  
を備えていることを特徴とする請求項 2 2 に記載の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本特許出願は、2000年9月20日に出願された、米国特許出願番号09/665, 370の特許出願「材料の複素誘電率の局部的測定装置」の部分継続出願である。

【0002】

本発明は、測定技術に関する。特に、本発明自体は、材料のマイクロ波領域での複素誘電率についての極めて局部的な測定技術、及び近接場光学顕微鏡技術に向けたものである。

【0003】

より特定的には、本発明は、材料の複素誘電率の局部的決定を行うために、明確な輪郭を有する、測定材料のサンプリング容積内にプローブ領域を制限する平衡型多導体伝送線共振器に基づいて材料の複素誘電率を非破壊的に決定するためのプローブに関する。

【0004】

さらに、本発明は、約10MHzから100GHzの周波数において、材料の複素誘電率を局部的に測定するための、伸長された誘電体支持部材を用いたプローブの製造に関する。この製造工程は、多導体伝送線で覆われた誘電体支持部材を得るために、伸長された誘電体支持部材を導電材料で被覆し、次に、導電材料をこの誘電体の所定の側面から除去するべく処理することを含んでいる。 40

【背景技術】

【0005】

近接場走査型マイクロ波顕微鏡の主要な目標の一つは、材料のマイクロ波領域における複素誘電率（誘電定数及び導電率）を、横及び／又は深さ方向の選択性について高い感度で定量的に測定することである（即ち、微小容積での材料の特性を、その容積の周囲の環境からの寄与を無視して決定することである）。これは、例えば、1つの線又は1つの層の誘電率を、隣接する線又は下層の性質についての知見なしに決定しなければならない半 50

導体デバイス又は複合材料のような複雑な構造における測定には特に重要である。

【0006】

マイクロ波顕微鏡において、基本となる測定は、試料に極めて接近した位置に置かれたプローブからのマイクロ波信号の反射の決定である。反射信号の位相及び振幅は、ベクトルネットワークアナライザを使用することによって、又はプローブに結合した共振器の共振周波数及びQ値を測定することによって、直接的に決定され得る。

【0007】

多くの場合、反射信号の位相は、試料の誘電率の実数部と強い相関を有するのに対して、大きさは、誘電率の虚数部（即ち、試料のマイクロ波吸収）に支配される。プローブから試料を通過したマイクロ波の透過を測定することも可能であるが、一般的に、そのような配置は、試料の複素誘電率の局部的決定を与えない。

10

【0008】

マイクロ波顕微鏡における最も典型的なアプローチは、図1に示すように、中心内部導体（通常はSTMティップ）がプローブの一方の端から突出しており、先細りになって（テーパを付けられて）いる、非開口プローブとも参照される同軸プローブ構造を用いるものである。同軸プローブの回転対称的構造に対する他の態様として、コプラナ導波路又はストリップライン導波路のような平面構造がある。テーパを付けられた先端部は、プローブが先端頂点の曲率以下のオーダで特徴を「画像化」可能にする、先端頂点の周囲及び／又は下部における電界集中のために用いられる。

【発明の開示】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、この画像化による解法は、プローブが先端頂点の曲率よりも普通は数桁大きい（普通は数ミリメートルの）容積を平均化しているため、定量的な測定ではない。先端頂点周辺に電界が集中することも重要であるが、より大きな距離にわたって広がる電界も存在する。このような装置は、中心導体先端の曲率直径又は半径のオーダの画像化解像度を与える。

【0010】

装置が試料の電気的特性を決定する空間の容積は、中心導体先端のみの局部的な寸法によって決定されず、むしろ、図1に示すように、中心導体先端と、接地（外部）導体即ちシールドとの分離によって与えられる長さスケールで決定されることは、古典電気力学の考察から明らかである。

30

【0011】

従って、材料のマイクロ波領域での特性を定量的に決定するためには、先端の曲率半径と同等の長さスケールを有する十分な画像コントラストが得られる一方で、この特性が、プローブ先端と接地導体との間の距離の少なくとも数倍大きな長さスケールにおいて不均一ではない状態でなければならない。

【0012】

さらに、プローブと試料との分離が、このプローブ-試料間の分離及び電界分布の関数である、測定されるキャパシタンスに影響を及ぼすことは、古典電気力学の考察から明らかである。従って、非接触方式で複素誘電率を決定するために、プローブと試料との分離を測定することが重要である。従来技術においては、電界分布の距離及び微小容積を正確に制御しなければ、横及び／又は深さ方向の高い選択性、並びに正確な定量的結果を得ることができない。

40

【0013】

さらに、周辺領域における双極性の電流による、プローブの露出部分に固有の不安定な特性が、上記の構造を複雑にしている。放射量は、環境に、即ち試料の複素誘電率と、反射信号の振幅（反射の測定）又は共振器のQ値（共振技術）に影響を与えるプローブ及び試料間の距離とに非常に強く依存する。結果として、試料のマイクロ波吸収の決定において誤りの生じる可能性がある。

50

## 【0014】

従来の近接場マイクロ波プローブは、テーパを付けられたファイバ先端が、光及びマイクロ波放射に対してカットオフ周波数を有するという欠陥がある円形導波路として働くため、近接場の光学的測定及び複素誘電率測定を同時に行うために使用することができない。

## 【0015】

本発明の目的は、導電体間の信号の交換に関して対称である平衡型多導体伝送線共振器に基づいた、試料の複素誘電率の非破壊的決定用の新規なプローブを提供することにある。これは、試料容積の環境に対する測定の依存度を著しく低下させるため、所望のサンプルリング容積内にプローブ領域を制限することを可能にする。

10

## 【0016】

本発明の他の目的は、伸長された誘電体支持部材を導電材料で被覆し、さらに、それに続く技術的工程により、この導電材料を誘電体支持部材の所定数の側面から除去して、近接場光学顕微鏡用の先端を提供すると共に複素誘電率測定用のプローブとして使用可能な多導体伝送線で覆われた誘電体支持部材を提供する、誘電体支持部材を用いた(光ファイバを用いた場合を含む)近接場マイクロ波プローブの製造方法を提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0017】

ここに提示した原理に従って、本発明は、誘電体支持部材上に形成された多導体(好ましくは二導体)伝送線を有する、非破壊測定のための新規なプローブを提供する。伝送線の一端(ここでは「プローブ端」としても言及されている)は、測定試料の極めて近くに持ってこられ、極小の空間範囲を有する終端に向かってテーパを付けられ(先鋭にされ)てもよい。信号は、伝送線を通して試料に向かって供給され、試料から反射された信号が測定される。伝送線の反対側の端は、反射信号の位相及び大きさを決定するための電子装置に接続されている。反射信号の位相及び大きさの測定は、広帯域の周波数にわたるものである。変更態様として、プローブが共振器に結合されている場合には、電子装置は共振器の共振周波数及びQ値を決定するが、これは狭帯域の周波数の測定をもたらす。

20

## 【0018】

この種のシステムにおいては、プローブの先端部分の直径は50nmから10 $\mu$ mの範囲にあり、細長い誘電体支持部材の直径は10 $\mu$ mから10mmの範囲にある。導電ストリップは、誘電体支持部材の周囲で、約100nmを超えない距離で互いに隔てられている。

30

## 【0019】

各導電ストリップは、金属材料又は超電導材料である、Au、Ag、Cu、Al、YBCO、Cr、W、Pt、Nbなど及びこれらの混合物を含むグループに属する1つの導電材料から形成されている。各導電ストリップは、誘電体支持部材上に(又は誘電体支持部材が光学ファイバを用いた構造である場合にはクラッド層上に)直接的に堆積された、50Å~100Å厚のCr、Ni、W又はTa下地層上に形成されている。

## 【0020】

本発明の概念によると、そのような誘電支持体は、以下の実施態様のいずれの形態であってもよい。

40

## 【0021】

a) むき出しの(テーパが付いていない)クラッド層の直径が10 $\mu$ mから10mmの範囲内にある、露出したクラッド層を有する光ファイバ。この光ファイバは、エッチング及び/又は加熱・引っ張り処理によってテーパを付けることができ、さらに動作周波数における誘電損失の正接が $10^{-1}$ 以下であるいずれの絶縁体材料(例えば、石英、サファイア、ガラスなど)から形成してもよい。

## 【0022】

b) エッチング及び/又は加熱・引っ張り処理によってテーパを付けることができ、さらに動作周波数における誘電損失の正接が $10^{-1}$ 以下であるいずれの絶縁体材料(例え

50



ば、石英、サファイア、ガラスなど）からでも形成される、外径が $10\mu\text{m}$ から $10\text{mm}$ までである誘電体ロッド（ほぼ断面は円形）。

【0023】

c) エッチング及び／又は加熱・引っ張り処理によってテープを付けることができ、さらに動作周波数における誘電損失の正接が $10^{-1}$ 以下であるいずれの絶縁体材料（例えば、石英、サファイア、ガラスなど）からでも形成される、外径が $10\mu\text{m}$ から $10\text{mm}$ までであり、かつ適当な内径を有している誘電体チューブ（マイクロピペットなど）。

【0024】

d) エッチング及び／又は加熱・引っ張り処理によってテープを付けることができ、さらに動作周波数における誘電損失の正接が $10^{-1}$ 以下であるいずれの絶縁体材料（例えば、石英、サファイア、ガラスなど）からでも形成される、外径が $10\mu\text{m}$ から $10\text{mm}$ までであり、かつ適当な内径を有していると共に、チューブ内に挿入された光ファイバを有する誘電体チューブ（マイクロピペットなど）。

【0025】

e) エッチング及び／又は加熱・引っ張り処理によってテープを付けることができ、さらに動作周波数における誘電損失の正接が $10^{-1}$ 以下であるいずれの絶縁体材料（例えば、石英、サファイア、ガラスなど）からでも形成される、断面の長さ寸法が $10\mu\text{m}$ から $10\text{mm}$ までである、正方形、長方形、五角形、六角形、八角形などの断面を有する誘電体バー。

【0026】

f) エッチング及び／又は加熱・引っ張り処理によってテープを付けることができ、さらに動作周波数における誘電損失の正接が $10^{-1}$ 以下であるいずれの絶縁体材料（例えば、石英、サファイア、ガラスなど）からでも形成される、誘電体（筒の数が2から20までの）多筒チューブ又はシートチューブ。一つ又は2つ以上の筒が、挿入された光ファイバー又は金属線を有していてもよい。

【0027】

さらに、本発明は、近接場光学顕微鏡及び／又は複素誘電率測定用のファイバを用いたプローブを含む、誘電体支持部材を用いたプローブの製造方法に向けたものである。この製造方法は、ファイバを用いたプローブを製造するために、以下の準備工程を含んでいる。即ち、

【0028】

光ファイバ線の中心光ファイバを取り囲むクラッド層を露出させるために、所定長の光ファイバ線から外部被覆を除去する工程と、

【0029】

クラッド層上に、 $50\text{\AA}$ ～ $100\text{\AA}$ 厚のCr、Ni、W又はTa下地層を異方性堆積させる工程とを含んでいる。他のすべての誘電体支持部材を用いたプローブにおいて、 $50\text{\AA}$ ～ $100\text{\AA}$ 厚のCr、Ni、W又はTa下地層は、誘電体支持部材に直接的に異方性堆積される。

【0030】

この製造方法は、さらに以下の工程、即ち、

所定位置の間のCr、Ni、W又はTa下地層を任意に除去する工程と、

所定位置にあるCr、Ni、W又はTa下地層上に、導電材料を異方性堆積させる工程と、

伸長された誘電体支持部材（光ファイバ線を含む）上に、電氣的に絶縁された複数の導電ストリップを形成するために、所定位置の間の導電材料を除去する工程とを含んでいる。

【0031】

導電材料及びCr、Ni、W又はTa下地層は、公知の従来堆積技術、例えば、パルスエネルギー堆積、蒸着、スパッタリング、浸漬、収束イオンビーム堆積などの内の一つによって堆積される。

10

20

30

40

50

## 【0032】

導電材料及びCr、Ni、W又はTa下地層は、イオンビームミリング、収束イオンビームミリング、化学エッチング、マスクを使用しないフォトリソグラフィなどのような多数の材料除去技術によって除去される。

## 【0033】

Cr、Ni、W又はTa下地層の除去は、この工程を組み入れるか否かにかかわらず、この方法が機能することがわかってきたので、省略してもよい。

## 【0034】

上述した本発明によるプローブ10のすべての実施態様において、プローブの製造手順は実質的には同一であり、以下の工程を含む。

(i) 伸長された誘電体支持部材が、化学エッチング（例えば、HFの使用など）及び／又は加熱・引っ張り処理（例えば、CO<sub>2</sub> レーザ又は加熱用フィラメントを用いた引っ張り機の使用）によってテーパを付けられ、これにより、その端に、頂点の曲率（又は直径）を10nmに低下させた先端を形成する。

(ii) テーパを付けられた誘電体支持部材が、導電材料（例えば、Cu、Al、Ag、Auなど）で被覆される。この工程において、多層被覆を用いてもよい（例えば、Cr/Au）。

(iii) 複素誘電率測定用のプローブとして使用し得る多導体伝送線を製造するために、導電材料が2以上の側面から除去される。

## 【0035】

実施態様(f)において、プローブの製造手順は以下の工程を含んでもよい。

(i) 適当な直径を有する2つの（又は3つ以上の）金属線（例えば、Cu、Al、Ag、Auなど）が、石英製の多筒チューブ又は毛細シータチューブの内側にある2つの（又は3つ以上の）異なる開口内に挿入される。

(ii) (i) で得られた組み立て品が、加熱・引っ張り処理（例えば、CO<sub>2</sub> レーザ又は加熱用フィラメントを用いた引っ張り機の使用）によってテーパを付けられ、これにより、頂点の曲率（又は直径）を10nmに低下させた先端を形成する。

(iii) テーパを付けられた構造が、任意に、導電材料（例えば、Cu、Al、Ag、Auなど）によって一様に被覆され、これにより、シールドされた平衡型伝送線が形成される。さらに、多層被覆を用いてもよい（例えば、Cr/Au）。一般に、石英内ではマイクロ波損失が小さいので、このような構造によれば、平衡型マイクロ波伝送線及び／又は共振器を構成することができる。

## 【0036】

本発明の上述した及び他の新規な特徴及び効果は、以下の添付図面の詳細な記載から十分に理解されるであろう。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0037】

図2及び図3には、試料11の複素誘電率を非破壊で決定するためのプローブ10が示されている。プローブ10は、誘電体支持部材を用いた二導体伝送線12として設計されている。1つの軸に沿って伸びており、その長さ方向に沿って変化する断面寸法を有してもよいプローブ10の支持部材は、誘電体（即ち絶縁体）材料から形成されている。プローブ10は、その表面に堆積され、又は誘電支持体の長さ方向に沿って内部で伸びている、2つの（又は3つ以上の）空間的に隔離し対称的に配置された導電体（導電ストリップ）13及び14を含んでいる。

## 【0038】

誘電体支持部材は、以下の実施態様のいずれの形態であってもよい。

## 【0039】

a) むき出しの（テーパが付いていない）クラッド層の直径が10μmから10mmまでの範囲内にある、露出したクラッド層を有する光ファイバ。この光ファイバは、エッチング及び／又は加熱・引っ張り処理によってテーパを付けることができ、さらに動作周波

10

20

30

40

50

数における誘電損失の正接が  $10^{-1}$  以下である絶縁体材料（例えば、石英、サファイア、ガラスなど）から形成してもよい。

【0040】

b) エッチング及び／又は加熱・引っ張り処理によってテーパを付けることができ、さらに動作周波数における誘電損失の正接が  $10^{-1}$  以下である絶縁体材料（例えば、石英、サファイア、ガラスなど）から形成される、外径が約  $10\mu\text{m}$  から  $10\text{mm}$  までである誘電体ロッド（その断面は円形）。

【0041】

c) エッチング及び／又は加熱・引っ張り処理によってテーパを付けることができ、さらに動作周波数における誘電損失の正接が  $10^{-1}$  以下である絶縁体材料（例えば、石英、サファイア、ガラスなど）から形成される、外径が  $10\mu\text{m}$  から  $10\text{mm}$  までであり、かつ適当な内径を有している誘電体チューブ（マイクロピペットなど）。 10

【0042】

d) エッチング及び／又は加熱・引っ張り処理によってテーパを付けることができ、さらに動作周波数における誘電損失の正接が  $10^{-1}$  以下である絶縁体材料（例えば、石英、サファイア、ガラスなど）から形成される、外径が  $10\mu\text{m}$  から  $10\text{mm}$  までであり、かつ適当な内径を有していると共に、チューブ内に挿入された光ファイバを有する誘電体チューブ（マイクロピペットなど）。

【0043】

e) エッチング及び／又は加熱・引っ張り処理によってテーパを付けることができ、さらに動作周波数における誘電損失の正接が  $10^{-1}$  以下である絶縁体材料（例えば、石英、サファイア、ガラスなど）から形成される、断面の長さ寸法が  $10\mu\text{m}$  から  $10\text{mm}$  までである、正方形、長方形、五角形、六角形、八角形などの断面を有する誘電体バー。 20

【0044】

f) エッチング及び／又は加熱・引っ張り処理によってテーパを付けることができ、さらに動作周波数における誘電損失の正接が  $10^{-1}$  以下である絶縁体材料（例えば、石英、サファイア、ガラスなど）から形成される、（筒の数が2から20までの）誘電体多筒チューブ又はシータチューブ。誘電体多筒チューブに関して、1つ又は2つ以上の筒が、挿入された光ファイバ又は金属線を有していてもよい。

【0045】

特に図2及び図3に示されている、本発明によるプローブ10の光ファイバを用いた実施態様に関して、2つの（又は3つ以上の）空間的に隔離し対称的に配置された導電体（ここでは導電素子とも言及されている）13及び14は、光ファイバ線16のクラッド層15の表面に堆積されている。上述した他の全ての実施態様においては、導電ストリップ（又は、導電素子）13及び14は、誘電体支持部材の表面上に直接的に形成される。 30

【0046】

本発明によるプローブ10の前述の実施態様におけるプローブの製造手順は実質的に同一であり、以下の工程を含んでいる。

(i) 誘電体支持部材が、化学エッチング（例えば、HFの使用など）及び／又は加熱・引っ張り処理（例えば、 $\text{CO}_2$  レーザ又は加熱用フィラメントを用いた引っ張り機の使用）によってテーパを付けられ、これにより、その端に、頂点の曲率（又は直径）を  $10\text{nm}$  に低下させた先端を形成する。 40

(ii) テーパを付けられた誘電体支持部材が、導電材料（例えば、Cu、Al、Ag、Auなど）で被覆される。全被覆工程において、多層被覆を用いることができる（例えば、Cr/Au）。

(iii) 次に、複素誘電率測定用のプローブとして使用される多導体伝送線を形成するために、導電材料が2以上の側面から除去される。

【0047】

実施態様（f）において、プローブの製造手順は以下の工程を含んでもよい。

(i) 適当な直径を有する2つ（又は3つ以上の）金属線（例えば、Cu、Al、Ag、 50

Au など) が、石英製の多筒チューブ又は毛細シタチューブの内側にある 2 つの (又は 3 つ以上の) 異なる開口内に挿入される。

(ii) (i) で得られた組み立て品が、加熱・引っ張り処理 (例えば、CO<sub>2</sub> レーザ又は加熱用フィラメントを用いた引っ張り機の使用) によってテーパを付けられ、これにより、頂点の曲率 (又は直径) を 10 nm 程度に低下させた先端を形成する。

(iii) このようにテーパを付けられた構造は、任意に、導電材料 (例えば、Cu、Al、Ag、Au など) によって一様に被覆され、これにより、シールドされた平衡型伝送線が形成される。既に記載したように、多層被覆を用いてもよい (例えば、Cr/Au)。石英内ではマイクロ波損失が小さいので、このような構造によれば平衡型マイクロ波伝送線及び/又は共振器を構成することができる。

10

#### 【0048】

図 6 (A) 及び図 6 (B) に示すように、プローブ 10 は、2 つ又は 3 つ以上のチャンネル 62 を有するシタチューブ (又は誘電体多筒チューブ) 60 から形成されている (チューブ 60 は、動作周波数における誘電損失の正接が  $10^{-3}$  未満である材料から形成されている)。

#### 【0049】

チャンネル 62 の各々の中に、約数百マイクロメートルの厚みの金属線 (又は光ファイバ線) 64 が挿入される。このように形成された組み立て品が、まず、エッチング及び/又は加熱・引っ張り処理 (例えば、CO<sub>2</sub> レーザ又は加熱用フィラメントを用いた引っ張り機の使用) によって、約 10 nm にまでテーパを付けられ、それによって、直径 67 が 10 nm に低下し、その終端 70 における直径が約 1 mm であり、長さ 72 が  $\lambda/4$  又は  $\lambda/2$  共振器に対応する先端 66 を有するプローブ 10 が形成される。

20

#### 【0050】

さらに、シース 68 が、図 6 (B) に示すように、先端 66 をこのシースで覆わないように、石英チューブ 60 上に堆積される。しかしながら、同軸及び二導体プローブ構造という、両モードの本プローブを用いてほぼ同一の空間分解能を有する測定を可能とするために、このシースは、図 6 (A) に破線で示すように、頂点まで任意に延長されてもよい。シース 68 は、好ましくは、Cu、Al、Ag、Au で形成され、変更態様として、例えば Cr/Au を含む多層被覆が使用可能である。

#### 【0051】

共振器を製造するために使用される場合、図 6 (A) 及び図 6 (B) に示されたプローブを備えた共振器の Q 値は、数百になり得る。

30

#### 【0052】

誘電体支持部材を用いた近接場プローブの先端を製造するために開発されてきた技術が、いくつか存在する。例えば、図 7 (A) に示したように、Au などの金属 85 によって被覆された、テーパを付けられた誘電体支持部材 21 の先端頂点 84 に、収束イオンビーム (FIB) 82 が導かれる。このような技術によって、プローブ先端の断面を示した図 7 (B) のように、電気的に絶縁された複数の導電性ストリップによって周囲を取り囲まれた誘電体支持部材 21 を露出させている、輪郭のはっきりした切り口 (clear cut) が形成される。当然のこととして、先端部は、円形、四角形、五角形、六角形、八角形などの形、又は外形に合わせて作られた形であってよい。

40

#### 【0053】

図 8 (A) から図 8 (C) に示したように、近接場プローブの先端を製造するためにイオンミリングが使用可能である。図 8 (A) に示したように、イオンビーム 86 を、プローブ、即ち導電性材料 88 で被覆された誘電体支持部材 21 の頂点 84 に導き、このプローブを矢印 90 で示される方向に回転させる。同様に、図 8 (C) に示すような先端の曲率のオーダである幅を有するギャップ 94 をイオンビーム 86 がエッチングできるように、図 8 (B) に示したように、誘電体線 21 を矢印 92 で示したように先端点の周囲で揺動させて (be bounced around the tip point) もよい。この技術は比較的低コストで簡単であり、そのままで実施可能である。

50

## 【0054】

図9(A)から図9(C)に、本発明によるプローブの先端を製造するための他の技術が示されている。この技術によると、Au(Ag、Alなど)が誘電体支持部材21上に堆積され、図8(A)及び図8(B)に示された手順に類似した、プローブの頂点に対して印可されるイオンミリングが実施され、又は先端にチャンネルを形成するためにFIB82が使用される。このチャンネルの直径は約5nmであってよい。次いで、図9(B)で示したように、先端がFIB82を用いて切り落とされ、又は図9(C)で示したように、FIB82を先端の周囲で走査させることもできる。

## 【0055】

図10(A)及び図10(B)に示したように、FIBを、誘電体支持部材上にストリップ線を描画するために使用してもよい。この方法においては、約5nm厚の狭い線100の形成用としてプローブ先端に導電材料微粒子を堆積させるために、収束イオンビーム96を、(誘電体線21の誘電体材料が金属被覆88から露出している)プローブ先端に向かって導き、矢印98で示された方向で往復運動させる。

## 【0056】

光ファイバを含む本発明によるプローブの実施態様(a)、(d)及び(f)は、複素誘電率の測定に加えて、近接場光学顕微鏡による測定を同時に行うことに用いてもよい。さらに、実施態様(c)及び(f)は、毛細チューブ中に液体を引き込むことにより、ごく微量の液体の誘電率を測定することに用いてよい。

## 【0057】

測定を行うために、再度、図2及び図3に言及すると、伝送線12のプローブ端17は試料11の極めて近くに持って来られ、伝送線12の反対側の端18は、反射信号の位相及び大きさを決定するための電子装置、又は以下に記載された目的のための共振器構造20を形成するための終端プレート19のいずれかに接続される。

## 【0058】

主に、プローブ10は、2つの機能の実施形態で表される。

## 【0059】

A. 試料11に信号を供給し、反射信号の大きさと共に位相をも測定するための伝送線としての動作。この伝送線は、奇数モードで、即ち2つの導体のうちの一方、例えば導体13における電流が他の導体14における電流と逆方向となっているモードで、又は導電シースが伝送線12を覆うために用いられている偶数モードで作動している。偶数モードで作動している場合、試料とプローブとの相互作用は、当業者にとっては公知である同軸対称性と同様になる。この伝送線配置による反射信号の位相及び大きさの測定は、広帯域の周波数にわたるものであるが、一般に、試料特性に対する感度に関して十分ではなく、ベクトルネットワークアナライザのようなかなり高価で複雑な電子装置の使用を必要とする。

## 【0060】

B. 高価でない装置を使用しながら、より良い感度で正確な結果を得るために、本発明によるプローブ10は、図2に示された、誘電体支持部材21の誘電体媒介物によって隔離された導体13、14を備えた伝送線12の一部によって形成されている共振器構造20として表される。

## 【0061】

共振器構造20のプローブ端17は、伝送線共振器構造20の反対側の端18が終端プレート19に結合された状態で、試料11(イオン注入されたシリコン、金属及び/又は誘電体複合構造、何らかの基板上の金属及び/又は誘電体膜などでもよい)の近くに持って来られる。共振器構造20は、試料11の複素誘電率を決定するために、共振器構造20の共振周波数及びQ値を測定するように製造されている。

## 【0062】

導体13、14の間隔及びこれらの断面は、試料によって引き起こされた共振周波数及びQ値の変化の正確な測定を行うのに十分に高い共振器のQ値を維持するように、適切に

10

20

30

40

50

選択されねばならない。導体13と14との距離は、10GHzでQ値を1000よりも大きな値とするために、約1mmのオーダか、又はそれより大きくする必要がある。この距離は、誘電体支持部材の直径によって決定され、10μmから10mmの範囲内であってもよい。

#### 【0063】

本発明によるプローブ10が共振器として作動している場合は、奇数及び偶数の作動モードは、一般に、信号の分散によって2つの異なる共振周波数をもたらし、従って、周波数領域において分離しており、それぞれ独立して出力され観測され得る。導体13と14との間にある支持部材21の誘電体媒介物は、そのような分散を強めるのに役立つ。

#### 【0064】

共振器20への結合は、(図2に最も良く示されているように)任意の導電シース23内にある、共振器20の近くに配置された結合ループ22によって達成される。任意の第2結合ループ24を、図2に概略的に示された電子測定装置25のために使用してもよい。変更態様として、共振器20からこのフィードループ内に反射されて戻って来た信号を分離するために、サーキュレータ又は指向性カプラを使用してもよい。

#### 【0065】

共振器構造20の共振周波数及びQ値は、当業者に公知の技術によって決定されてもよい。通常用いられている一つの構成が、D.E.Steinhauer, C.P.Vlahacos, S.K.Dutta, F.C.Wellstood, and S.M.Anlage, Applied Physics Letters, Volume71, Number12, 22 September1997, pages1736-1738 に示されている。

#### 【0066】

特に、周波数が変調されたマイクロ波信号(典型例として、1mVで、5GHzから10GHz)は、Agilent Technologies(Palo Alto, California)社製の形式HP83752Aのようなマイクロ波発生器によって生成され、共振器に供給される。反射信号は、DiTom(San Jose, California)社製の形式DMC6018のようなサーキュレータを経由して、Agilent Technologies(Palo Alto, California)社製の形式HP8473Cのようなダイオード検出器まで伝送される。このダイオード検出器の出力は、Ametek, Inc.(Oak Ridge, TN)製の形式7280のようなロックインアンプを使用して正確に検出可能であるマイクロ波発生器の周波数変調の周波数と同じ周波数における成分を有する電圧信号である。

#### 【0067】

ロックインアンプを用いて測定された電圧は、共振周波数とマイクロ波発生器のキャリア周波数との差に比例する。マイクロ波信号の変調周波数の2倍の周波数での電圧成分は、共振器のQ値に比例する。この電圧成分も同様に、Ametek, Inc.(Oak Ridge, TN)製の形式7280のようなロックインアンプを用いて測定してもよい。試料の複素誘電率は、測定量を、既知材料で得られている校正値と比較して決定してもよい。

#### 【0068】

本発明による共振器構造20は、 $(2n+1)\lambda/4$ 共振器、又は $(n+1)\lambda/2$ 共振器( $n=0, 1, 2, \dots$ )のいずれか一方を形成しており、その全長は、最も低いモードの周波数で決められていて、例えば、10GHzにおける $\lambda/4$ モードに対しては約7.5mmとなる。

#### 【0069】

図2に示したように、共振器構造20は、例えば、金属又は超電導体であるCr、W、Pt、Nb、Cu、Au、Ag、Al、YBCO及びこれらの混合物による円筒形のシース23で取り囲まれてもよい。シース23は、共振器20からの放射及び共振器特性に対する環境による障害の影響を共に排除する。特に、共振器20の近傍における移動部品による変動する影響が排除される。シース23は、試料領域の近くに開口26を有している。この開口によって、試料11を共振器20に効率良く結合させることが可能となり、さらに、共振周波数及びQ値を、試料のマイクロ波領域における誘電率に従属させることができる。導体13と14との間隔がシース23の内径に比べて小さい限り、共振器特性は、実質的にシースの存在によって影響を受けない。シース23の上部は、終端プレート1

10

20

30

40

50

9と電氣的接觸を形成する。シース23の底部は、試料領域への明確な物理的及び視覚的接近を与えるために、円錐形を有してもよい。

#### 【0070】

以上で述べたように、共振器構造20のプローブ端17は、測定のためのために試料11の極めて近くに持って来られる。プローブ端17での断面構造は、サンプリング容積、即ち横及び深さの両方向での空間分解能を決定する。プローブ端17における近接場電界分布が対称であるため、本発明によるプローブ10によれば、試料11の複素誘電率の面内異方性が決定可能となる。特に、試料11に関して異なったプローブ方向で得られた測定（又は全体の走査）を比較してもよいし、又は異方性決定のために一方を他方から差し引いてもよい。

10

#### 【0071】

シース23がプローブ10と共に使用される場合、プローブ端17は、シース23内に形成された開口26を通り越して突き出ている。シース23と共振器20との間に弱い結合が存在しているため、開口26の直径は、プローブ端17における電界強度及び共振器20のQ値のいずれにも影響を与えず、さらに共振器20の動作への試料の寄与にも影響しない。

#### 【0072】

しかしながら、最適な空間選択性（定量的な分解能）のために、開口26の直径は、シース23を越えて伸長している共振器20の近接部27の長さよりも一般に小さい。これにより、試料11と、開口26の隣接環境に存在する弱い近接場との間の相互作用が排除される。シース23の外側にある共振器20の部分27での四重極的な電流分布のために、開口領域26と同様に共振器20のこの部分は、無視し得る量のマイクロ波遠距離場放射しか引き起こしていない。さらに、三次元数値モデルによって確認されてきたように、マイクロ波電流はシース23の外側表面には実質的に存在していない。従って、プローブ10は従来の同軸構造よりも極めて少ない放射しか引き起こさず、主として近接場の寄与によって試料11と相互作用する。

20

#### 【0073】

高い空間分解能を得るため、換言すれば、試料のマイクロ波特性が決定される容積のサイズを減少させるため、プローブ端17における導体13及び14の直径は、それらの間隔21での直径と同様、図2に示したように同時に2つの導体13及び14の分離を徐々に減少させながら、2つの導体13及び14の各々に所望の断面にまでテーパを付けることによって達成し得る最小可能寸法にまで、サイズを低減されなければならない。

30

#### 【0074】

図2に示し以上に記載したように、伝送線共振器20の全体は、一つの軸に沿って伸長され、テーパが付いているか否かいずれかのプローブ端を備えた円柱形の誘電体支持部材（光ファイバを含む）を形成している、誘電材料の単片から形成されてもよいが、図3に示したように、試料11に最も近い伝送線の部分は、2つの金属ストリップ28及び29が誘電体支持部材21の対向する側面に堆積された、その誘電体支持部材21と置き換えられてよいこともまた、本発明の範囲内であることが認められる。

#### 【0075】

2つの金属ストリップ28及び29は、平行でテーパが付いていない金属線、又は鋭い先端に向かってテーパを付けられた導電ストリップのいずれかを形成する方法で誘電体支持部材上に堆積されてもよく、さらに（図2に示したように）同時に、徐々に互いの極めて近くに持ってこられる。図3に示した配置において、クランプ30は、誘電体支持部材を、試料11に対して所定の方

40

#### 【0076】

図2及び図3に示した実施態様において、2つの導電金属ストリップを備えた誘電体支持部材は、プローブ10の頂上の終端プレート19に形成されたスルーホールを通して、又はシース23の中の開口26を通して、共振器20の中に搭載される。

#### 【0077】

50

プローブ 10 と試料 11 との距離は、図 2 に概略的に示したトラッキング／制御装置 31 によって制御される。トラッキング／制御装置 31 は、近接場走査光学顕微鏡の分野で公知の、多数の距離検知機構の中の 1 つを含んでいてもよい。

#### 【0078】

本発明によるプローブ 10 の実施態様の一つであって、特に、光ファイバを用いたプローブは、図 4 (A) に示された、クラッド層 15 によって覆われ、さらに外部被覆 32 によって覆われた中心光ファイバ 21 を含む標準的な光ファイバ 16 を用いて製造される。図 4 (B) に示したように、外部被覆 32 は、クラッド層 15 を露出させるためにクラッド層 15 から剥ぎ取られる。光ファイバを用いていない、本発明によるプローブ 10 の実施態様においては、図 4 (A) 及び図 4 (B) に示された手順は省略される。図 4 (C) から図 4 (G) に示された、光ファイバを用いたプローブ及び用いていないプローブのための、さらに先のすべての工程は同様である。この関連で、さらに誘電体支持部材は、以下のような標準技術を用いて、図 4 (C) に示したように任意にテーパを付けられてもよい。

#### 【0079】

1. 誘電体部材を引き伸ばすため、外力がその両端に印可されている間に、レーザビームをその伸長された誘電体部材上に合焦させる加熱引っ張り技術。誘電体部材は引き伸ばされるので、一般に、引き伸ばす力が印可されている端の近くではその本来の直径が維持されるが、中心近くでは直径が小さくなる。最終的に、テーパを付けられた線は、テーパを付けられた先端を備えた 2 本の線に分離される。本発明の目的のため、これらの先端は、直径を  $10\ \mu\text{m}$  に低下させて形成される。レーザは、同じ効果を有するコイルによる加熱素子と置き換えられてもよい。

#### 【0080】

2. 誘電体支持部材の端が、時間の決まった所定の方法によってエッチング液に曝されることによる、例えば、テーパを付けるべき誘電体支持部材の端をエッチング溶液に浸し、この溶液からこの誘電体支持部材を所定の速度で引き上げ、これにより、誘電体部材の端のテーパを付けられた輪郭を形成することによる、化学エッチング技術。

#### 【0081】

所望のプローブの構造及び長さを有する誘電体支持部材が得られ次第、この誘電体部材に沿って（又は光ファイバを用いた実施態様ではクラッド層 15 に沿って）、所定の位置 35 及び 36 に Cr、Ni、W 又は Ta 下地層 34 を異方性堆積させるために、この誘電体支持部材が、図 4 (D) に概略的に示された堆積チャンバ 33 内に置かれる。下地層 34 は、パルスレーザ堆積、蒸着、浸漬、スパッタリング又は収束イオンビーム堆積によって堆積させてもよい。これらの堆積／蒸着技術を実行するため、Cr、Ni、W 又は Ta のソース 37 が、堆積チャンバ 33 内で誘電体支持部材から所定の距離に置かれ、Cr、Ni、W 又は Ta 微粒子が、ソース 37 から、誘電体支持部材のソース 37 に近い側面に導かれる。

#### 【0082】

Cr、Ni、W 又は Ta のソース 37 は、加熱蒸着用の蒸発ボート、又は公知のパルスレーザ堆積技術によって用いられる堆積プルームである。さらに、当業者に公知の従来浸漬技術によって、誘電体支持部材の表面又はクラッド層 15 の表面に、材料を直接的に堆積してもよい。この堆積／蒸着技術は、材料ソースと向き合っている誘電体部材の側面上への Cr（又は他の）材料の直接的な堆積を提供する。

#### 【0083】

ソースに向いている側面が被覆された後、誘電体支持部材は、堆積させたい導体の数に応じて回転させられる。例として、二導体プローブは、 $180^\circ$  回転を伴った 2 回の堆積を必要とする。三導体プローブならば、堆積の間の  $120^\circ$  回転（回転角は必要な導体の数によって  $360^\circ$  を割ったものである）を伴った 3 回の堆積を必要とするであろう。Cr、Ni、W 又は Ta の堆積中に、（導電ストリップが堆積されるべき）所定の位置 35 と 36 との間の側面 38 及び 39 は同様に若干の材料を受けるが、その厚さは位置 35 及



び36での厚さに比べて極めて小さい。

【0084】

その結果、所定の位置35及び36に置かれた、Cr、Ni、W又はTaの厚い層40及び41は、2つの「側壁」38及び39上に存在しているCr、Ni、W又はTaの薄い層42及び43によって接続されているかもしれない。これら2つの薄い層42及び43は、以下の工程で、即ち図4(E)に示されたイオンビームミリング、収束イオンビームミリングを経て、又は化学エッチングによって、任意に除去されてもよい。しかしながら、Cr、Ni、W又はTa下地層の存在がプローブの性能を低下させないことが明らかになってきたことから、Cr、Ni、W又はTa下地層は、除去せずそのままにしておいてもよい。

10

【0085】

エッチング溶液もまた、表面の特定領域から導電材料を除去するために使用されてよい。この場合、フォトレジストが試料に印可され、次いで、エッチング溶液が露出領域のみの材料を除去することができるように選択的に露光される。

【0086】

ひとつの製造手順として、Cr、Ni、W又はTaの薄い層42及び43を除去して2つの厚い層40及び41を絶縁させるために、誘電体支持部材の両側壁38及び39がイオンビームに曝露され、このイオンビームが、構造の異方性によって側壁38、39からのみ材料をミリングにより除去し、頂上及び底35及び36の厚いストリップを実質的に互いに接触させないで残存させる。これが図4(E)に概略的に示された断面を有する構造を与える。

20

【0087】

側面38及び39から薄い層42、43が除去された後、約50Å~100Å厚のCr、Ni、W又はTaの厚い層40及び41が、誘電体支持部材の側面35及び36上に残存する。

【0088】

さらに、図4(F)に示されたその次の工程では、金属材料又は超電導体であるCr、W、Pt、Nb、Au、Ag、Cu、Al、YBCO又はその混合物のいずれかを含む導電材料が、図4(D)に示され以上に記載された堆積／蒸着技術を用いて、Cr、Ni、W又はTaの厚い層40上に10μm厚となるまで堆積される。この堆積／蒸着技術は、誘電体支持部材の表面に対する導電材料の密着を容易にするCr、Ni、W又はTaの厚い層40上に、導電材料を直接的に堆積することを提供する。

30

【0089】

層44がCr、Ni、W又はTa下地層40上に堆積された後、この構造体が所望の導体数に応じて回転させられ、Cr、Ni、W又はTa下地層41上面に導電層45を堆積させるために、この堆積／蒸着技術が誘電体支持部材に対して実施される。導電材料層44及び45の望ましくない電氣的結合をもたらす導電材料の薄い層が、層44と45との間に堆積し得ることは明らかである。不要な薄い導電材料層46及び47を除去し、導電材料層44及び45を互いに電氣的に絶縁させるため、薄い層46及び47は共に、導電材料層44と45との間の位置から材料をミリングによって除去するイオンビーム又は収束イオンビームに曝露される。さらに、化学エッチングによって不要な材料を除去してもよい。

40

【0090】

この方法で、プローブ設計に応じた所望の数だけの導電ストリップを含むマルチストリップ構造が、誘電体支持部材の表面上に形成されてもよい。図4(A)から図4(G)は、誘電体支持部材の表面上の二導体伝送線を示しているが、本発明の原理は、伝送線中の導体数がいくつであっても等しく適用される。

【0091】

誘電体支持部材の側面から材料を除去する2つの方法が、本発明の範囲で表される。

【0092】

50

A. イオンビームに向いているファイバ線の側面から材料を除去するイオンビームミリング。エッチングレートは、種々の材料及びミリング装置によって変化することから、誘電体支持部材の被覆における所望の谷領域をミリングするために、実行される特定の工程に応じて、ミリングの設定及び時間が制御される。

【0093】

上記の方法を用いて、 $125\mu\text{m}$ 径の光ファイバ線上と、直径 $1\text{mm}$ の石英ロッド上と、 $1\times 1.2\text{mm}$ の石英バー上とにプローブが製造された。各々の場合に、 $1\mu\text{m}$ 厚の金被覆を上記のように支持部材上に堆積させ、次いで、この金を、各々の側面で約20分間、3cm Commonwealth Scientific IBS 250 イオンビームミリング装置を用いて、谷領域からミリングにより除去した。

10

【0094】

エッチングレートは、イオンビームの設定を変えることによって変化した。時間及びエッチングレートが、誘電体支持部材から除去される材料の量を決定する。

【0095】

本発明による方法を用いて、 $125\mu\text{m}$ 径のテーパを付けられた光ファイバ線上と、 $1\text{mm}$ 径のテーパを付けられた石英ロッド上と、又は $1\times 1.2\text{mm}$ のテーパを付けられた石英バー上とに、すべて光ファイバのプローブ端において直径 $12\mu\text{m}$ を有する、より小さなプローブが製造された。各線上に $1\mu\text{m}$ 厚の金被覆が形成され、谷になった側面の各々で約45分間、3cm Commonwealth Scientific IBS 250 イオンビームミリング装置を用いて、谷領域から金のミリングがなされた。結果として、 $12\mu\text{m}$ 未満の離隔を有する二

20

【0096】

B. イオンビームミリングに対する変更態様として、谷領域から導電材料及び（任意として）Cr、Ni、W又はTa下地層を除去するために、マスクを使用しないフォトリソグラフィが本願出願人によって開発されてきた。まず、図5（A）及び図5（B）に示すように、フォトレジスト50がCr、Ni、W又はTaで被覆されたファイバ線全体に印可される。次いで、図5（C）に示すように、ファイバ線の薄い半透明の側面42及び43上のフォトレジスト50を露光させる光がファイバ線を通して供給される。Cr、Ni、W又はTa下地層の厚い部分40及び41を覆っているフォトレジスト50は、この位置にあって光を遮っているCr、Ni、W、又はTaのバルクのために、影響を受けない。その後、このファイバは、図5（D）に示すように、露出した薄い導電被覆の側壁面から材料を除去するエッチング溶液51中に浸漬される。

30

【0097】

Cr、Ni、W又はTa下地層の除去に関する図5（A）から図5（D）に示された方法は、図4（F）に示された谷領域46及び47から導電材料を除去するために同じく適用が可能である。

【0098】

本発明は、その特定の形態及び実施態様に関して記載されてきたが、上記以外の様々な変更態様が、発明の精神又は範囲から外れることなく、使用され得ることが認められる。例えば、特許請求の範囲に定義されているような発明の精神又は範囲からすべて外れることなく、均等の構成要素が、具体的に示され記載されている構成要素に代用されてもよく、いくつかの特徴が、他の特徴とは独立して使用されてもよく、さらにいくつかの場合に、構成要素の特定の位置が入れ換えられ、又は挿入されてもよい。

40

【図面の簡単な説明】

【0099】

【図1】従来技術のシステムである、非開口プローブの概略図である。

【図2】金属ストリップ対がその上に堆積され、テーパを付けられた線を有する、本発明による誘電体支持部材を用いたプローブによって形成された共振器を描いた概略図である。

【図3】二導体ストリップがその上に堆積され、テーパを付けられていない誘電体支持部

50

材によって形成された、本発明によるプローブを示した概略図である。

【図４】本発明による誘電体支持部材を用いたプローブの製造の技術的手順を示す概略図である。

【図５】本発明によるマスクを使用しないフォトリソグラフィ技術の概略図である。

【図６】誘電体多筒チューブの形態のプローブの製造技術を示す概略図である。

【図７】誘電体支持部材を用いた近接場プローブの先端を形成するための、収束イオンビーム（FIB）切断技術の概略図である。

【図８】本発明によるプローブの先端を製造するためのイオンミリング技術の概略図である。

【図９】本発明によるプローブの先端を製造するためのFIB除去技術の概略図である。 10

【図１０】本発明によるプローブの先端上にストリップ線を描画するためのFIB技術の概略図である。

# 【符号の説明】

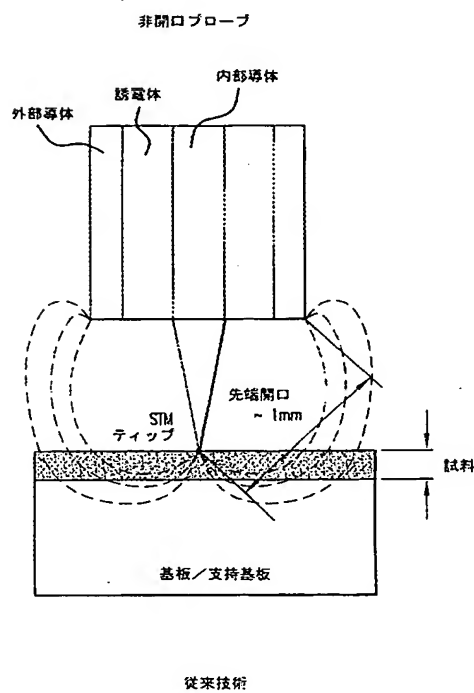
## 【０１００】

- １０ プローブ
- １１ 試料
- １２ 伝送線
- １３、１４ 導体
- １５ クラッド層
- １６ 光ファイバ線 20
- １７ プローブ端
- １８ 伝送線他端
- １９ 終端プレート
- ２０ 共振器構造
- ２１ 誘電体支持部材
- ２２、２４ 結合ループ
- ２３ シース
- ２５ 電子測定装置
- ２６ 開口
- ２７ シースを超えて伸長している共振器の近接部 30
- ２８、２９ 金属ストリップ
- ３０ クランプ
- ３１ トラッキング／制御装置
- ３２ 外部被覆
- ３３ 堆積チャンバ
- ３４ 下地層
- ３５、３６ 導電ストリップが堆積されるべき所定の位置
- ３７ ソース
- ３８、３９ 所定の位置３５と３６との間の側面
- ４０、４１ 厚い下地層 40
- ４２、４３ 薄い下地層
- ４４、４５ 導電材料層
- ４６、４７ 薄い導電材料層
- ４８ イオンビーム源
- ４９ イオンビーム
- ５０ フォトレジスト
- ５１ エッチング溶液
- ６０ 石英チューブ
- ６２ チャンネル
- ６４ 金属線（又は光ファイバ線） 50

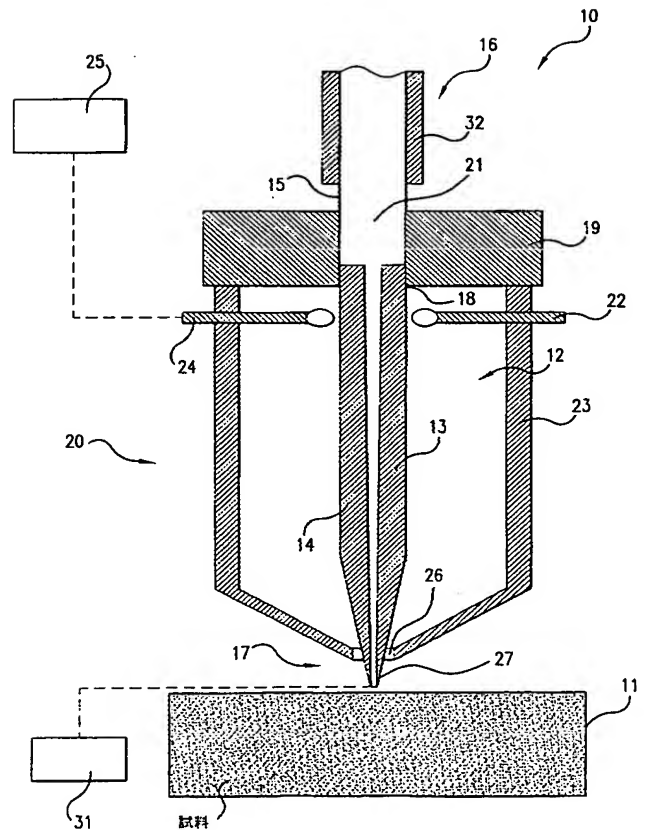
- 6 6 石英チューブ先端
- 6 7 石英チューブ先端における直径
- 6 8 シース
- 7 0 石英チューブ端における直径
- 7 2 石英チューブ長
- 8 2 収束イオンビーム
- 8 4 プローブ頂点
- 8 6 イオンビーム
- 8 8 導電材料
- 9 0 回転方向を示す矢印
- 9 2 揺動させる方向を示す矢印
- 9 4 ギャップ
- 9 6 収束イオンビーム
- 9 8 往復運動の方向を示す矢印
- 1 0 0 導電材料の狭い線

10

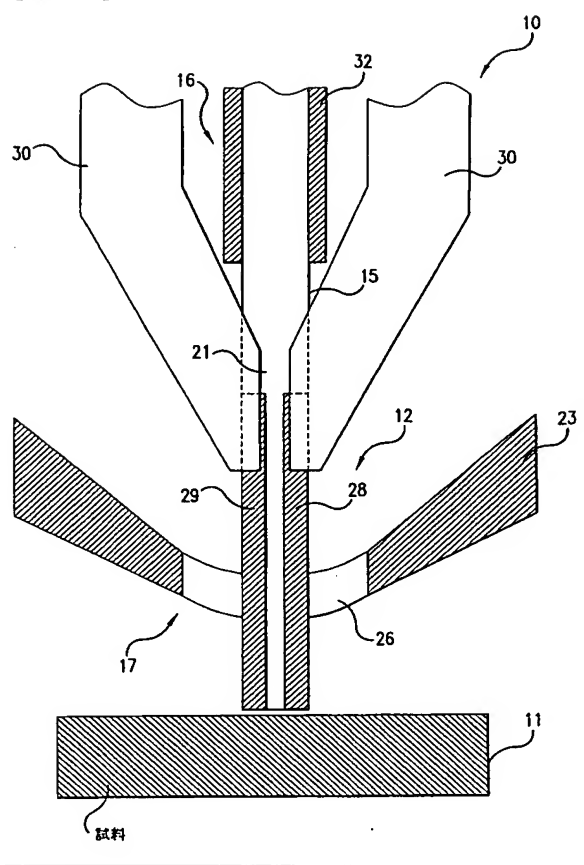
【図 1】



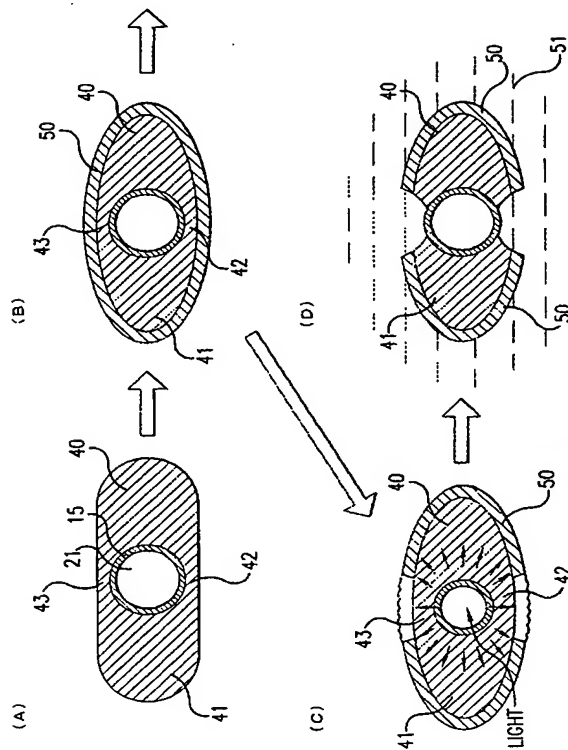
【図 2】



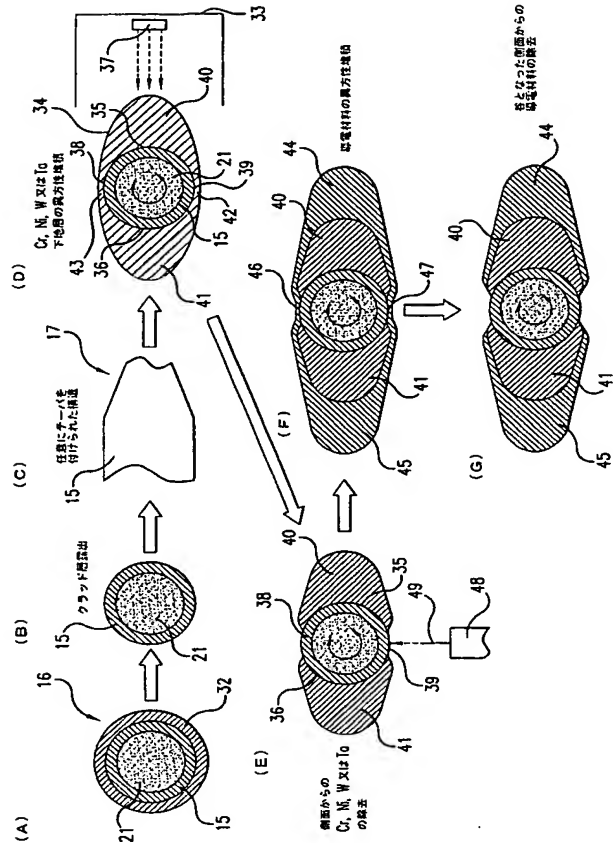
【 図 3 】



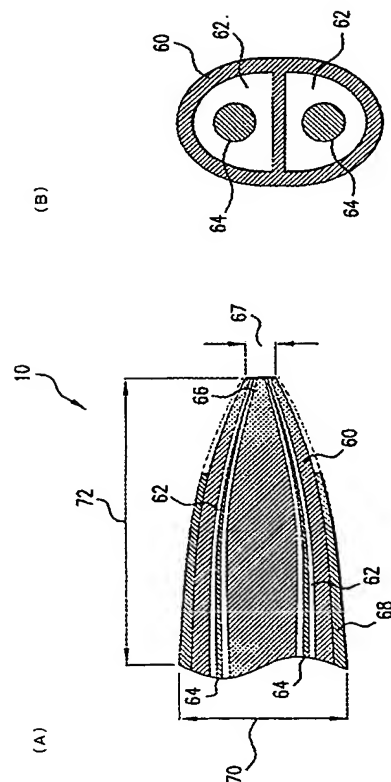
【図 5】



【 図 4 】

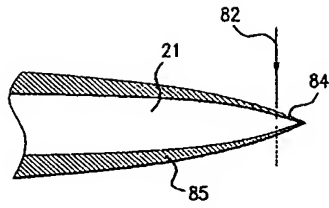


【 図 6 】

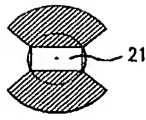


【 図 7 】

(A)

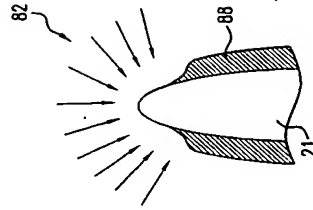


(B)



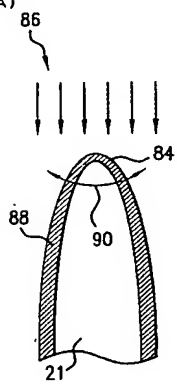
【 図 9 】

(C)

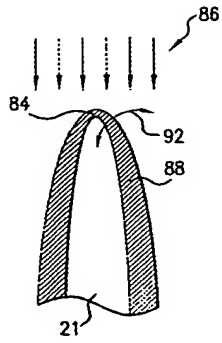


【 図 8 】

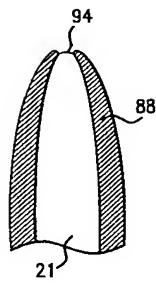
(A)



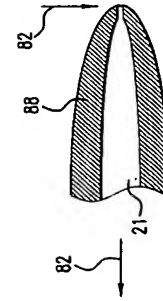
(B)



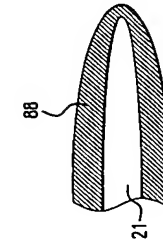
(C)



(B)

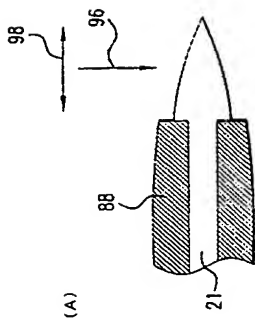
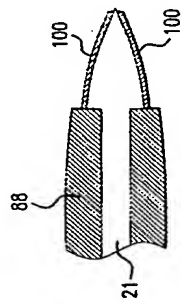


(A)



【 図 10 】

(B)



フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
G 1 2 B 21/06	G 0 1 R 27/26 H	
	G 1 2 B 1/00 6 0 1 C	

(72) 発明者 ハンス エム. クリステン  
 アメリカ合衆国, テネシー 3 7 9 3 2, ノックスビル, キャンドルウィック ロード 1  
 3 1 7 番地

(72) 発明者 ウラジミール ブイ. タラノフ  
 アメリカ合衆国, メリーランド 2 0 7 7 0, グリーンベルト, レイククレスト ドライブ  
 8 1 5 0 番地, アpartment 2 0 8

(72) 発明者 アンドリュー アール. シュワルツ  
 アメリカ合衆国, メリーランド 2 0 8 1 7, ベセスダ, マッキンリー ストリート 5 7  
 0 3 番地

F ターム (参考) 2G011 AA13 AD01 AD02 AE00 AF00  
 2G028 AA03 CG09 DH15 HM04 MS03